

# センドスト・ポリマー複合構造を有する電磁雑音吸収体の研究

著者	吉田 栄吉
号	2847
発行年	2001
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/8120">http://hdl.handle.net/10097/8120</a>

	よしだ しげよし
氏 名	吉 田 栄 吉
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 材料物性学専攻
学 位 論 文 題 目	センダスト・ポリマー複合構造を有する電磁雑音吸収体の研究
指 導 教 官	東北大学教授 深道 和明
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 深道 和明      東北大学教授 島田 寛 東北大学教授 荒井 賢一

## 論 文 内 容 要 旨

### 1. 研究の背景

高周波領域で動作する電子機器の急速な普及で、高周波電磁障害の問題が一般にも認識されるようになり、電子機器間や電子機器内部における電磁環境両立性 (EMC) の確立が極めて重要な課題になってきた。ところが、携帯電話などで用いられる高周波領域では、電気回路が分布定数線路として振舞うために、これまでの集中定数部品を用いた雑音対策では十分な効果が得られず、新しい対策手段とそれに用いる高周波特性に優れた磁性材料の開発が強く望まれてきた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、高周波領域で有効な新しい電磁雑音対策手段を提唱し、それに用いることのできる高周波磁気損失特性に優れた新しい磁性材料を設計すると共に、磁気損失特性の制御手段を明らかにして、工業化の指針を示すことにある。

### 3. 新しい高周波電磁雑音対策手段の提案

GHz に近い高周波領域では、電気回路が分布定数線路として振舞いインピーダンスの不整合による雑音の発生が頻繁に生じる。しかし、フェライトや誘電材料を用いた集中定数型の対策部品では雑音の抑制は困難である。そこで、本研究では、高周波領域での分布定数線路の雑音対策として、面状の損失材料を用いた周波数選択的な伝導雑音 (高周波電流) エネルギー吸収による新しい対策手法を提案した。その実現には、高周波領域で高い電気抵抗と、共鳴型の磁気損失を示す工業化の容易な新しい磁性材料が必要となる。

### 4. 高周波磁気雑音吸収体の設計

準マイクロ波帯のような高周波領域で優れた伝導雑音吸収特性を有する磁性材料には、高周波領域で急峻に立ち上がり広帯域に分散する  $\mu''$  特性の実現が必要となる。この要求特性のうち、大きな  $\mu''$  と急峻に立ち上がる  $\mu''$  プロファイルは、薄膜磁性体と本質的に同じ構造であれば実現できる。また、伝送線路のインピーダンスに影響を与えないような高い電気抵抗の実現には、絶縁体を介して複合構造化することが必要になる。そこで、薄膜磁性体のような大きなアスペクト比と表皮深さ以下の厚さをもつ2次元的形状の金属磁性粉末がポリマー中に積層・配列された構造を有する新しい複合磁性体を提案した。

## 5. センダスト・ポリマー複合磁性体の磁氣的性質

高周波磁気損失特性に優れた偏平形状の磁性粉末には、磁化が大きこと、軟磁性の条件( $K_f=0$ 、 $\lambda_s=0$ )を満たす組成を含むこと、安価で環境負荷が小さいことなどから Fe-Si-Al 合金を選択した。

アトライタやサンドミルを用いるマイクロ鍛造法により、薄くアスペクト比の大きな偏平形状センダスト粉末を作製し、これをポリマーと混合しコーティング法でシート化することで、センダスト粉末がポリマー中に配向・配列された複合構造をもつ磁性体を得た。このセンダスト・ポリマー複合磁性体の高周波透磁率特性を調べ、ゴムフェライトに比べて約3倍の最大透磁率を示すこと、および急峻な立ち上がりをもつ双峰型の $\mu''$ 分散の得られることがわかった。この双峰型の分散を与える2つの分散成分(低周波側をDⅡ、高周波側をDⅢと呼ぶ)は、いずれも出発原料の分散(DⅠと呼ぶ)とは異なる周波数領域に発現し急峻な変化を示す共鳴型の分散である。

マイクロ鍛造により得られる偏平粉末には鍛造時の応力歪みが残留しており、アニール処理により最大透磁率が向上し共鳴周波数が低下するが、XRD による共鳴周波数のアニール温度依存性から、鍛造状態では応力歪みが残留し、磁性相は不規則状態であることが明らかになった。

以上のように、センダスト・ポリマー複合磁性体は設計指針を満足できる磁気損失特性を示し、高周波電磁雑音吸収体とし好ましいと言える。しかしながら、より小さな体積(厚さ)で電磁雑音の吸収を実現するには、更なる $\mu''$ 値の増大化と $\mu''$ プロファイルの最適化が必要であり、そのためには $\mu''$ 分散の発現機構解明が不可欠となる。

## 6. 透磁率分散の発現機構に関する考察

透磁率分散の発現機構を解明できれば、電磁雑音吸収体に必要な磁気損失特性の更なる改善が図れ、材料設計の指針を示す事ができる。そこで、センダスト中心組成を含む9種類の Fe-Si-Al 合金を用意し、マイクロ鍛造の進行と透磁率特性の変化を詳しく調べた。

DⅠの透磁率分散を示す出発原料をマイクロ鍛造すると、分散の形は鍛造の進行と共にDⅠ+DⅡからDⅡ+DⅢへの変化を伴いながら高周波側に移行する。透磁率分散DⅠの最大周波数 $f''$ は出発原料粉末の粒径(厚さ)に強く依存し、DⅠは粉末内部に発生する渦電流による分散と考えられる。本研究の複合磁性体は、複合異方性薄膜と本質的に同じ構造であり、分散DⅡは、鍛造が進行し粉末形状が2次元状に変化したことで生じる一軸異方性によるものと推察した。また、鍛造初期のDⅠ+DⅡの混在は、粉末厚さの2極化によるものであり、長時間鍛造したときのDⅡ+DⅢの混在は、粉末表面積の増大化によるものであることが明らかになった。

分散DⅢは粉末表面積の大きな領域で発現し、DⅡよりも1桁程度大きな異方性磁界をもつ磁気共鳴により生じると推定される。そこで、透磁率分散に対する磁性粉末の表面積依存性や表面状態、および磁性相の微細構造を詳しく調べた。粉末をアニール処理すると、磁性相の規則性が高まり(DO<sub>3</sub>化)透磁率が向上するが、Si/Alの粉末表面への移行～酸化を伴い磁性相はFe過剰となり、その割合は粉末表面積に強く依存する。

一方、鍛造粉末は極めて不規則な磁性相となっており、透磁率の大きさは粉末アスペクト比にのみ依存する。高周波に現れる分散DⅢは、アニール粉末よりもむしろアズフォージド粉末でより顕著に現れており、いずれの粉末でも母合金相は大きな磁歪を有している状態と考えられる。したがって、分散DⅢはSi/Alが濃縮された表面層によるものではなく、磁気弾性効果による表面磁気異方性によるともの考えるのが妥当である。

以上の知見をもとに、アニール後の格子定数が、DO<sub>3</sub>に近い粉末を用い $\mu''=30$ ( $\mu'=95$ )の複合磁性体

を得た。また、電磁雑音吸収体に最適な複合磁性体の設計指針として、低周波の電磁雑音吸収にはアニール後に異方性磁界が小さくなる組成をもつ磁性粉末の利用が適しており、高周波用にはアスペクト比の大きな磁性粉をアズフォージド状態で用いるのが好ましいことを示した。

## 7. 電磁雑音抑制効果の検証

本研究で得られたセンダスト・ポリマー複合磁性体の高周波電磁雑音吸収性能を調べる為に、マイクロストリップ線路を用いた伝導雑音の抑制効果と、マイクロループアンテナを用いた近傍電磁雑音の抑制効果を調べた。

マイクロストリップ線路に複合磁性体を配置したときの高周波電磁雑音の吸収効果を伝送損失 $P_{loss}$ により評価し、 $P_{loss}$ が $\mu''$ の大きさと磁性体の厚さ、すなわち $\mu'' \cdot t$ に依存することを示した。また伝送損失 $P_{loss}$ は、 $\mu''$ の周波数分散を反映する周波数特性、すなわち $P_{loss} \propto \mu'' \cdot \omega$ の関係を示すことを確認した。

波源と検出素子にマイクロループアンテナを用い、近傍界での電磁雑音吸収効果をアンテナ間の結合および透過レベルとして評価し、結合レベル、透過レベル共に $\mu''$ の大きさと磁性体厚さに依存することを示した。

以上の検証により、本研究で提案したセンダスト・ポリマー複合構造をもつ電磁雑音吸収体は、高周波領域で大きな $\mu''$ を有することで、ゴムフェライトに比べて数倍大きな伝導電磁雑音の抑制効果を示すと共に、急峻に立ち上がる広帯域な $\mu''$ 分散特性を有する事で、信号周波数に近い周波数の雑音成分を抑制できることを示した。すなわち、本研究のセンダスト・ポリマー複合磁性体は、高周波雑音の抑制に極めて有効であり実用的な価値は極めて高いと期待される。

## 8. 研究成果の応用事例

本研究の成果を基にセンダスト・ポリマー複合構造を有する電磁雑音吸収体を工業化した。高周波で動作する携帯電話機やノートパソコンなど小型電子機器の高周波電磁雑音対策に有効な材料として広く利用されている。また、本研究の電磁雑音吸収体は、国際電気標準会議(IEC)の新しい技術標準対象として審議されている。

## 9. 研究成果の総括

本研究では、高周波領域で有効な新しい電磁雑音対策手段を提唱し、それに用いることのできる高周波磁気損失特性に優れた新しい磁性材料の開発と電磁雑音対策効果の検証を行い、以下の成果を得た。

- 1) GHz領域で分布定数線路として動作する電気回路における電磁雑音対策の新しい手段として、面状の形状を有する磁気損失材料を用い電気回路と誘導的に結合させ、回路に高周波抵抗成分を導入する手法を提案した。
- 2) 高周波領域で優れた伝導雑音吸収特性を実現するには、高周波で急峻に立ち上がり広帯域に分散する $\mu''$ 特性と大きな電気抵抗の実現が必要であり、2次元形状をもつセンダスト粉末とポリマーからなる複合磁性体により実現できることを示した。
- 3) 複数の透磁率分散を与える機構を詳しく調べ、2次元的な形状をもつセンダスト粉末の透磁率制御手段を示した。
- 4) 3)の設計指針を基に、 $\mu''$ の急峻な立ち上がりと広帯域な周波数分散が実現でき、複合磁性体としては極めて大きい透磁率 $\mu' = 95$ 、 $\mu'' = 30$ が得られた。これはゴムフェライトに比べて各々15倍および

6 倍ほど大きい値である。

- 5) センダスト・ポリマー複合磁性体の電磁雑音抑制効果を調べ、1)の新しい雑音対策手段の有効性を明らかにしたと共に、ゴムフェライトに比べてカットオフが急峻で雑音抑制効果も数倍大きい事を確認した。
- 6) 以上の成果を基にセンダスト・ポリマー複合構造を有する電磁雑音吸収体を工業化した。携帯電話機やノートPC のような電子機器の電磁雑音対策に広く利用されている。

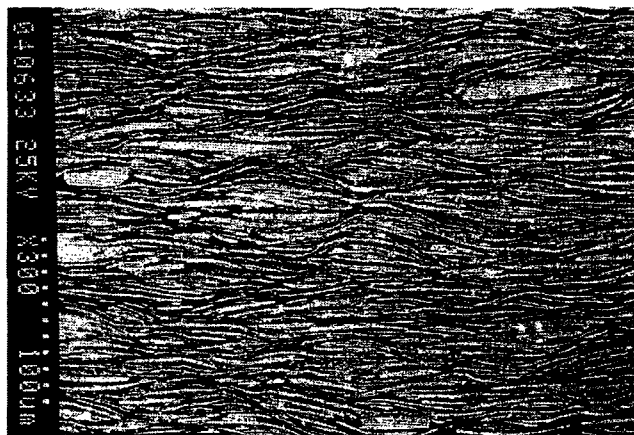


図1 センダスト・ポリマー複合磁性体の断面 SEM 像

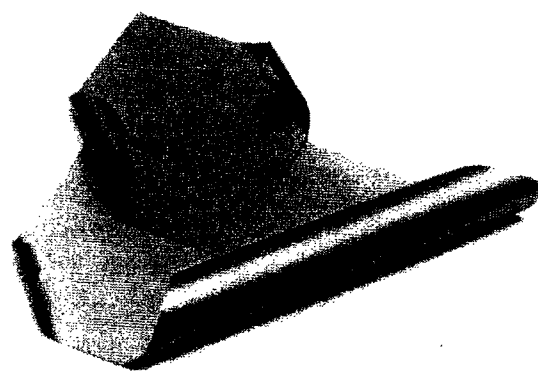


図3 センダスト・ポリマー複合構造をもつ電磁雑音吸収体の工業化例

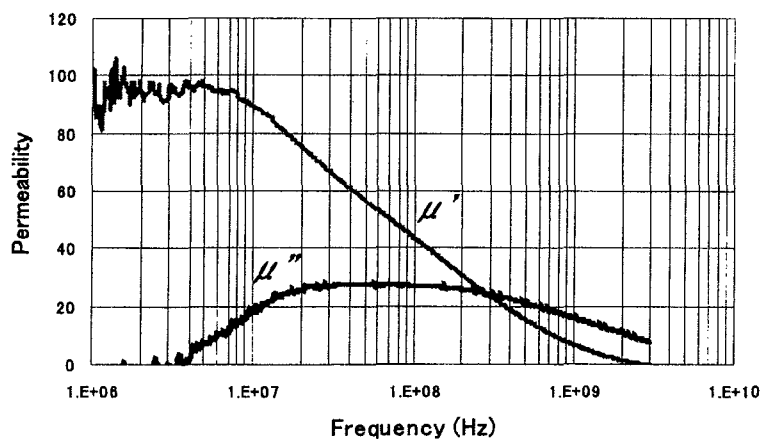


図2 センダスト・ポリマー複合磁性体の透磁率特性の一例

# 審 査 結 果 の 要 旨

センダスト・ポリマー複合構造を有する電磁雑音吸収体は、携帯電話などの高周波電子機器の急速な普及で深刻な問題となっている高周波電磁雑音対策に極めて重要な役割を期待される。本論文は、この複合構造を有する電磁雑音吸収体を用いて高周波磁気損失特性に優れた新しい雑音対策手段、磁性材料の設計手段、および磁気損失特性の制御手段を検討する事を目的とする。本論文は、全編8章より構成されている。

第1章は序論であり、本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究の背景を述べ、新しい電磁雑音対策および材料を提案している。GHz帯のような高周波領域で分布定数線路として動作する電気回路の電磁雑音対策手段として、面形状を有する磁気損失材料を用いて電気回路と誘導的に結合させ、回路に高周波抵抗成分を導入する手段を提案している。

第3章では、高周波特性に優れた磁気損失材料の設計を考察し、高周波領域で優れた電磁雑音吸収特性を実現するには、高周波で急峻に立ち上がり広帯域に分散する $\mu''$ 特性と大きな電気抵抗の実現が必要であり、2次元的な形状をもつセンダスト粉末とポリマーからなる複合磁性体により実現可能であることを示している。

第4章では、マイクロ鍛造法で偏平状に加工されたセンダスト粉末を用いて作製されたセンダスト・ポリマー複合構造を有する磁性体の磁気的な性質を詳細に検討し、従来の複合磁性体に比べて約1.5倍大きい最大透磁率を得ている。本研究の複合磁性体に見られる双峰型の分散は、2つの新たな磁気共鳴によるものであると推察し、それらの制御手段を明らかにする事で高周波電磁雑音の吸収に適した $\mu''$ プロファイルが実現できる見通しを得ている。

第5章では、複合体に見られる2つの新たな周波数分散の発現機構解明を目的に、センダスト粉末の偏平化過程と粉末焼鈍の効果を詳細に研究している。マイクロ鍛造初期から中期の段階では、偏平化された粉末と出発原料の形状に近い粉末の混在により、台形状の $\mu''$ プロファイルが見られ、鍛造中期では、偏平化された粉末の割合が高まり、最大透磁率 $\mu'_{\max} \approx 100$ と複合磁性体としては極めて大きな透磁率を実現している。鍛造後期では、偏平粉末の表面積の増大に伴って、高周波側に新たな磁気共鳴の発現が認められたが、粉末表面と磁性相の詳細な解析の結果、高周波側の磁気共鳴は表面近傍の磁気異方性に起因する可能性が高い事を示している。

第6章では、マイクロストリップ線路に電磁雑音吸収体を配置したときの伝送特性から電磁雑音の抑制効果を考察し、伝送損失 $P_{loss}$ が虚数部透磁率 $\mu''$ の大きさに比例すると共に、虚数部パーミアンス $\mu'' \cdot \delta_M$ に依存することを示し、本研究で提案したセンダスト・ポリマー複合構造をもつ電磁雑音吸収体が高周波電磁雑音の抑制に極めて有効である事を明らかにしている。

第7章では、本研究の電磁雑音吸収体が、携帯電話機のような高周波電子機器の電磁雑音対策に広く実用されている事を、いくつかの応用事例によって示している。

第8章では、本研究が総括され、結論が述べられている。

本研究の成果を基にセンダスト・ポリマー複合構造を有する電磁雑音吸収体が工業化され、様々な電子機器の高周波電磁雑音対策に広く利用されていると共に、国際電気標準化会議(IEC)への標準化提案もなされており、高周波電磁雑音の新しい対策手段・材料として今後の工業的貢献が大きく期待され、材料物性学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。